

Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica 3

Jorge González Aguilera
Alan Mario Zuffo
(Organizadores)



Jorge González Aguilera

Alan Mario Zuffo

(Organizadores)

Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica 3

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Karine de Lima
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
C569	<p>Ciências exatas e da terra e a dimensão adquirida através da evolução tecnológica 3 [recurso eletrônico] / Organizadores Jorge González Aguilera, Alan Mario Zuffo. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida Através da Evolução Tecnológica; v. 3)</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-474-0 DOI 10.22533/at.ed.740191107</p> <p>1. Ciências exatas e da terra – Pesquisa – Brasil. 2. Tecnologia. I. Aguilera, Jorge González. II. Zuffo, Alan Mario</p> <p style="text-align: right;">CDD 509.81</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “*Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica vol. 3*” aborda uma publicação da Atena Editora, apresenta, em seus 23 capítulos, conhecimentos tecnológicos e aplicados as Ciências Exatas e da Terra.

Este volume dedicado à Ciência Exatas e da Terra traz uma variedade de artigos que mostram a evolução tecnológica que vem acontecendo nestas duas ciências, e como isso tem impactado a vários setores produtivos e de pesquisas. São abordados temas relacionados com a produção de conhecimento na área da matemática, química do solo, computação, geoprocessamento de dados, biodigestores, educação ambiental, manejo da água, entre outros temas. Estas aplicações visam contribuir no aumento do conhecimento gerado por instituições públicas e privadas no país.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos nas Ciências Exatas e da Terra, os agradecimentos dos Organizadores e da Atena Editora.

Por fim, esperamos que este livro possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias para a área da Física, Matemática, e na Agronomia e, assim, contribuir na procura de novas pesquisas e tecnologias que possam solucionar os problemas que enfrentamos no dia a dia.

Jorge González Aguilera
Alan Mario Zuffo

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ACURÁCIA TEMÁTICA DE DADOS GEOESPACIAIS CONFORME A ET-CQDG	
Rodrigo Wanderley de Cerqueira Ana Cláudia Bezerra de Albuquerque Borborema de Andrade Alex de Lima Teodoro da Penha Fábio Dayan Soares de Melo	
DOI 10.22533/at.ed.7401911071	
CAPÍTULO 2	13
UM PANORAMA GERAL SOBRE A CALIBRAÇÃO DINÂMICA DE TRANSDUTORES DE PRESSÃO PIZOELETRICOS	
Flávio Roberto Faciolla Theodoro Maria Luisa Colucci da Costa Reis Carlos D'Andrade Souto	
DOI 10.22533/at.ed.7401911072	
CAPÍTULO 3	20
ANÁLISE DE INTEGRIDADE ESTRUTURAL ATRAVÉS DE SISTEMAS IMUNOLÓGICOS ARTIFICIAIS	
Rafaela Pereira Segantim Mara Lúcia Martins Lopes Fábio Roberto Chavarette	
DOI 10.22533/at.ed.7401911073	
CAPÍTULO 4	30
ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DO PROTOCOLO DE ROTEAMENTO RIP: UM ESTUDO DE CASO SOBRE O ASPECTO DE SEGURANÇA NO RIPV2	
Charles Hallan Fernandes dos Santos Lucivânia da Silva Souza Felipe Sampaio Dantas Silva	
DOI 10.22533/at.ed.7401911074	
CAPÍTULO 5	40
ANÁLISES DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO E ESQUEMAS DE PINTURAS EM CHAPAS DE AÇO ASTM A242 E AÇO CARBONO SAE 1020	
Rafaela Vale Matos	
DOI 10.22533/at.ed.7401911075	
CAPÍTULO 6	45
APLICAÇÃO DE ESFERAS DE QUITOSANA E ESFERAS DE QUITOSANA MODIFICADA COM NANOPÁRTÍCULA MAGNÉTICA (MAGNETITA) EM ANÁLISE DE ADSORÇÃO PARA O ÍON METÁLICO CROMO (VI)	
Andréa Claudia Oliveira Silva Maria José de Oliveira Pessoa	
DOI 10.22533/at.ed.7401911076	

CAPÍTULO 7	55
AVALIAÇÃO METROLÓGICA DE ANALISADORES DE QUALIDADE DE ENERGIA	
Rodrigo Rodrigues Nascimento Zampilis	
Marcelo Britto Martins	
DOI 10.22533/at.ed.7401911077	
CAPÍTULO 8	62
AXIOMAS FUNDAMENTAIS EM SISTEMAS DE MONITORAMENTO: UMA ANÁLISE EXPERIMENTAL PARA O MÉTODO DA IMPEDÂNCIA ELETROMECAÂNICA	
Caio Henrique Rodrigues	
Guilherme Silva Bergamim	
DOI 10.22533/at.ed.7401911078	
CAPÍTULO 9	75
VISÃO CEGA	
Vitoria Camargo da Silva	
Erinaldo Sanches Nascimento	
Fabiana Calisto Trevisan	
José Roberto Parra	
DOI 10.22533/at.ed.7401911079	
CAPÍTULO 10	86
CÉU ACESSÍVEL: APLICATIVO NA PLATAFORMA ANDROID PARA O ENSINO DE ASTRONOMIA PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL	
Ana Carolina Sampaio Frizzera	
Danielli Veiga Carneiro Sondermann	
Athyla Caetano	
Giovana Dewes Munari	
Caroline Azevedo Rosa	
Péricles José Ferreira	
Ronaldo Leffler	
Gabriel Barcellos Kretli Lopes	
DOI 10.22533/at.ed.74019110710	
CAPÍTULO 11	97
DETERMINAÇÃO TEÓRICA DO TEMPO DE ACELERAÇÃO EM 30 METROS PARA UM VEÍCULO BAJA SAE A PARTIR DO PRINCÍPIO DO IMPULSO	
Daiane Sampaio Fernandes	
Mateus Coutinho de Moraes	
Miguel Ângelo Menezes	
DOI 10.22533/at.ed.74019110711	
CAPÍTULO 12	105
DILATAÇÃO DE VEÍCULOS TANQUE RODOVIÁRIO	
Luciano Bruno Faruolo	
Edisio Alves de Aguiar Junior	
DOI 10.22533/at.ed.74019110712	

CAPÍTULO 13	110
EFEITO DA VARIAÇÃO DO VALOR DA DENSIDADE LATERAL RELACIONADA À SEPARAÇÃO GEOIDE-QUASEGEOIDE NA REGIÃO DE PORTO ALEGRE RS – ESTUDO DE CASO	
Roosevelt De Lara Santos Jr.	
DOI 10.22533/at.ed.74019110713	
CAPÍTULO 14	118
ELECTROCHEMICAL SENSING OF OH RADICALS AND RADICAL SCAVENGERS BASED ON POLY(METHYLENE BLUE)-MODIFIED ELECTRODE	
Maurício Hilgemann	
Marcelo Barcellos da Rosa	
DOI 10.22533/at.ed.74019110714	
CAPÍTULO 15	131
ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE MICRO GERAÇÃO RESIDENCIAL EM UM AMBIENTE MICRO REDE, CONSIDERANDO DIFERENTES CENÁRIOS	
Luiz Guilherme Piccioni de Almeida	
DOI 10.22533/at.ed.74019110715	
CAPÍTULO 16	141
EXPRESSÃO GRÁFICA E OFICINAS PEDAGÓGICAS: CONTRIBUIÇÕES PARA A APRENDIZAGEM DE MATEMÁTICA BÁSICA	
Alessandra Assad Angieski	
Heliza Colaço Góes	
Davi Paula da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.74019110716	
CAPÍTULO 17	155
LOGÍSTICA DA DESTINAÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DE SAÚDE DOS PRINCIPAIS HOSPITAIS DE ARACAJU/SE	
Ana Lúcia Oliveira Filipin	
Cleverton dos Santos	
Izabel Cristina Gomes de Oliveira	
Ana Sophia Oliveira Filipin	
DOI 10.22533/at.ed.74019110717	
CAPÍTULO 18	161
LUNAPPTICO: SOFTWARE DE TECNOLOGIA ASSISTIVA UTILIZADO NA COMUNICAÇÃO DE CRIANÇAS AUTISTAS DO ESTADO DO RN	
Elizeu Sandro da Silva	
Alyson Ricardo De Araújo Barbosa.	
Joêmia Leilane Gomes de Medeiros	
Welliana Benevides Ramalho	
Andrezza Cristina da Silva Barros Souza	
DOI 10.22533/at.ed.74019110718	

CAPÍTULO 19	180
MODELAGEM DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA MÓVEL COLABORATIVO PARA DEFICIENTES FÍSICOS	
Sivoney Pinto Dias Helder Guimarães Aragão	
DOI 10.22533/at.ed.74019110719	
CAPÍTULO 20	194
MODELAGEM E PROGRAMAÇÃO DE UMA PLATAFORMA DE STEWART	
Rodolfo Gabriel Pabst Roberto Simoni Maurício de Campos Porath Milton Evangelista de Oliveira Filho Antônio Otaviano Dourado	
DOI 10.22533/at.ed.74019110720	
CAPÍTULO 21	207
SISTEMA DE NOTIFICAÇÕES POR MENSAGENS DE CELULAR PARA MONITORAMENTO EM ATIVOS DE REDE	
César Eduardo Guarienti Igor Breno Estácio Dutra de Oliveira Thiago H. da C. Silva Raphael de Souza Rosa Gomes	
DOI 10.22533/at.ed.74019110721	
CAPÍTULO 22	213
MONTAGEM DE UM ARRANJO EXPERIMENTAL DIDÁTICO PARA O ESTUDO DA ESPECTROSCOPIA DE IMPEDÂNCIA ELETROQUÍMICA	
Ernando Silva Ferreira Ricardo Macedo Borges Boaventura Juan Alberto Leyva Cruz	
DOI 10.22533/at.ed.74019110722	
CAPÍTULO 23	225
O NOVO (E ATUAL) SI E O SEU IMPACTO NA METROLOGIA ELÉTRICA NO BRASIL	
Regis Pinheiro Landim Helio Ricardo Carvalho	
DOI 10.22533/at.ed.74019110723	
SOBRE OS ORGANIZADORES	240

AN OVERVIEW OF THE DYNAMIC CALIBRATION OF PIEZOELECTRIC PRESSURE TRANSDUCERS

Flávio Roberto Faciolla Theodoro

Instituto Tecnológico de Aeronáutica – São José dos Campos - SP

Maria Luisa Colucci da Costa Reis

Instituto de Aeronáutica e Espaço – São José dos Campos - SP

Carlos D’Andrade Souto

Instituto de Aeronáutica e Espaço – São José dos Campos - SP

UM PANORAMA GERAL SOBRE A CALIBRAÇÃO DINÂMICA DE TRANSDUTORES DE PRESSÃO PIZOELETRICOS

ABSTRACT: Dynamic calibration is a research area that is still under development and is of great interest to aerospace and automotive industries. This study discusses some concepts regarding dynamic measurements of pressure quantities and presents an overview of dynamic calibration of pressure transducers. Studies conducted by the Institute of Aeronautics and Space focusing on research regarding piezoelectric pressure transducer calibration in shock tube are presented. We employed the Guide to the Expression of Uncertainty and a Monte Carlo Method in the methodology. The results show that both device and methodology employed are adequate to calibrate the piezoelectric sensor.

KEYWORDS: Metrology, Dynamic Calibration, pressure transducers.

RESUMO: Calibração dinâmica é uma área de pesquisa que ainda está em desenvolvimento e é de grande interesse para as indústrias aeroespacial e automotiva. Este estudo discute alguns conceitos sobre medidas dinâmicas aplicadas à grandeza de pressão e apresenta uma visão geral sobre calibração dinâmica de transdutores de pressão. Estudos conduzidos pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço com foco em pesquisas sobre a calibração de transdutores de pressão piezoelétrico em tubo de choque são apresentados. A metodologia empregou-se o Guia para a Expressão da Incerteza e o Método de Monte Carlo. Os resultados mostram que tanto o dispositivo quanto a metodologia empregada são adequados para calibrar o sensor piezoelétrico.

PALAVRAS-CHAVE: Metrologia, Calibração dinâmica, transdutores de pressão.

1 | INTRODUCTION

Since the 1960’s researchers and members of the metrology community have realised that steady state pressure sensors were unable to capture the pressure variations that occurred in

dynamic phenomena (Ceará,1962). This has stimulated interest in sensors capable of measuring non-stationary pressure variations and how to calibrate such types of sensors.

A strong motivation for the interest in dynamic calibration is its application in the aerospace and military industries, where the reliability of measurements is very important. Schweppe et al (1963) pointed out that programs related to missile and space vehicles required reliable measurements of pressure signals due to the fact that the values change rapidly.

According to Eichstadt (2012), in the automotive industry there is also an important demand for sensors to measure rapid and significant variations in the pressure magnitude. Hjelmgren (2002), cited other areas, such as medicine and robotics, that also need to perform dynamic pressure measurements.

In 1972, in order to standardize the dynamic calibration process of pressure sensors, the American Society of Mechanical Engineers, ASME, published a Guide to Calibrating Pressure Transducers. This document was considered as the state of the art in dynamic calibration of pressure transducers by the Instrumentation Systems and Automation Society, ISA. The ISA reissued the document in 2002. This document contains information regarding the properties of pressure transducers in the frequency and time domains, mathematical modelling used in dynamic calibration, devices used for calibration, as well as care to be taken with the electronics of the calibration system. This document does not address any methods of estimating uncertainties associated with pressure transducer measurements.

Currently, the dynamic calibration of pressure sensors mobilizes research centres such as the National Physical Laboratory, NPL, in England, the Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, PTB, in Germany, and large corporations such as Rolls-Royce, Volkswagen and Porsche, which are concerned with improving the dynamic pressure measurement processes.

In this article some concepts regarding dynamic measurements of pressure quantities and issues related to the calibration of pressure transducers under dynamic conditions are discussed. The article is the result of studies carried out by the Institute of Aeronautics and Space, IAE, located in São José do Campos, Brazil.

2 | DYNAMIC CALIBRATION OF PRESSURE TRANSDUCERS

The term “dynamic calibration” for a pressure quantity is used to define the process of characterizing a dynamic pressure transducer, determining its properties such as natural frequency, damping, peak time, stabilization time and sensitivity (Theodoro et al, 2016).

The procedures to calibrate a sensor to be employed under static pressure conditions are well defined by metrology organizations. In summary, from a calibrated and traceable instrument, we obtain measurements and compare the data with a

standard. However, for a dynamic calibration of a piezoelectric pressure transducer we cannot establish a traceable reference standard which covers all the needs that this calibration demands (Theodoro et al, 2016). For example, we can find the sensitivity of the sensor and compare it with the sensitivity of the standard sensor using different devices, but it is difficult to estimate the peak time or the damping rate of the piezoelectric sensor with the required level of uncertainty so that the dynamic transducer can be considered calibrated.

In dynamic calibration a theoretical signal generated by a device is considered as the standard. Based on the characteristics of this device, a known and repetitive signal is generated which is compared with the signal captured by the transducer under calibration (Theodoro et al, 2016).

There are two methods of dynamically characterizing a transducer. In both, a specific type of signal is applied to the analyzed transducer and the response is measured. In the frequency domain method a periodic signal is applied. In the time domain method an aperiodic signal is applied, for example, a step signal (Diniz, et al 2006).

Recently, the authors published a method for characterizing piezoelectric sensors that cover frequency ranges from 1 to 60 kHz and a pressure range from 1 to 1000 kPa (Theodoro, 2016). In this method, a shock tube was used as the pressure signal generator to calibrate the sensor. Characteristics such as the rise time, peak time, stabilization time, sensibility, damping and natural frequency were determined, for a Kistler 701A[®] pressure sensor. This sensor is employed in aerospace testing. In this study, we calculated the uncertainties of the main parameters using the Monte Carlo method (JCGM100,2008). We used also the GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) methodology (JCGM100,2008).

The quality of the signal used in the calibration process is a key factor for the success of the dynamic calibration. The Shock Tube used in this study is located at the Henry T. Nagamazu Laboratory of the Aerodynamics and Hypersonic Division, of the Institute of Advanced Studies, IEAv, Department of Aerospace Science and Technology, DCTA, São José dos Campos, Brazil, and is capable of supplying good repeatability conditions.



Figure 1. Shock Tube (Theodoro, 2016).

Basically, a shock tube is a device that contains two compartments which are separated by a diaphragm. The first compartment is named the “driver tube” where a gas is stored. The second compartment is the “driven tube” where sensors are located. When the diaphragm is broken by pressure difference, a shock wave is generated and is used as an input step signal in the characterization of the transducers. One can see a schematic view of the main parts of the shock tube with the coupled sensors in Figure 2.

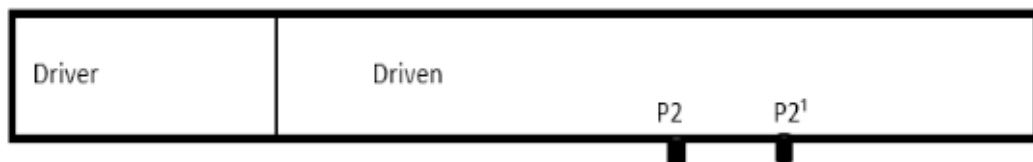


Figure 2. Schematic view of shock tube, diaphragm and sensors (Theodoro, 2016).

3 | RESULTS AND DISCUSSIONS

The start of the dynamic characterization process of the sensor occurs before a complete rupture of the diaphragm which separates the driver and driven tubes. Thus, firstly we calculate the velocity of the front shock wave which passes by sensors P2 and P2¹ (see Figure 2). Using a theoretical model presented by Matthews et al 2014 and based on the value of the wave front velocity, V , with initial pressure P_1 , and initial temperature T_1 , of the driver tube the value of the pressure step, ΔP , can be estimated.

The dynamic behaviour of the pressure sensor can be represented by a mass-spring system with damping (ISA, 2002). Thus, the main dynamic characteristics of the sensor, natural frequency, w_n , and damping, ζ , can be obtained experimentally, based on the values of its pick time, t_p , steady signal, $x(t_\infty)$, $x(t_{\max 1})$, and $x(t_{\max 2})$. Where $x(t_{\max 1})$ and $x(t_{\max 2})$ are two consecutive peaks above the mean value of the steady signal, $x(t_\infty)$ (ISA, 2002).

An estimation of the uncertainties of the evaluated parameters is an important issue in tests using shock tubes. In order to avoid a large number of experiments, the use of a statistical method such as Monte Carlo in the evaluation of uncertainties can be considered. The experience of the authors is that this strategy has proven to be efficient according to Theodoro (2016).

Assuming a *t-Student* distribution, we performed 10^6 trials for each measurement model to estimate the mean values and uncertainties of the output parameters ΔP , ζ , ω_n , for a 95% level of confidence. Results is shown in Table 1.

Input parameters	Output Parameters	Mean values (Output)	Standard deviation (Output)	Uncertainties lower limits (Output)	Uncertainties upper limits (Output)	Unit (Output)
V, T_1, P_1	ΔP	5.8×10^2	0.5×10^2	4.8×10^2	6.8×10^2	kPa
$x(t_\infty), x(t_{\max 1}), x(t_{\max 2})$	ζ	0.58×10^{-1}	0.21×10^{-1}	0	1.1×10^{-1}	dimensionless
t_p	ω_n	290×10^4	3×10^4	25×10^4	36×10^4	rad/s

Table 1. Parameters for propagation distributions and estimate values to quantities ΔP , ζ and ω_n

In Table 1, comparing the uncertainties limits shown in column five and six, it can be seen that uncertainties values of the ΔP quantities are symmetric (line one). Thus, when using a coverage factor $k = 2$ (Diniz et al 2006), we have a coverage interval for ΔP value which is similar to the uncertainties limits obtained according to a Monte Carlo Method.

The histogram of Figure 3 represents the resulting PDF for output ΔP , considering the input values of Table 1 applied a theoretical model obtained in (Matthews et al, 2014).

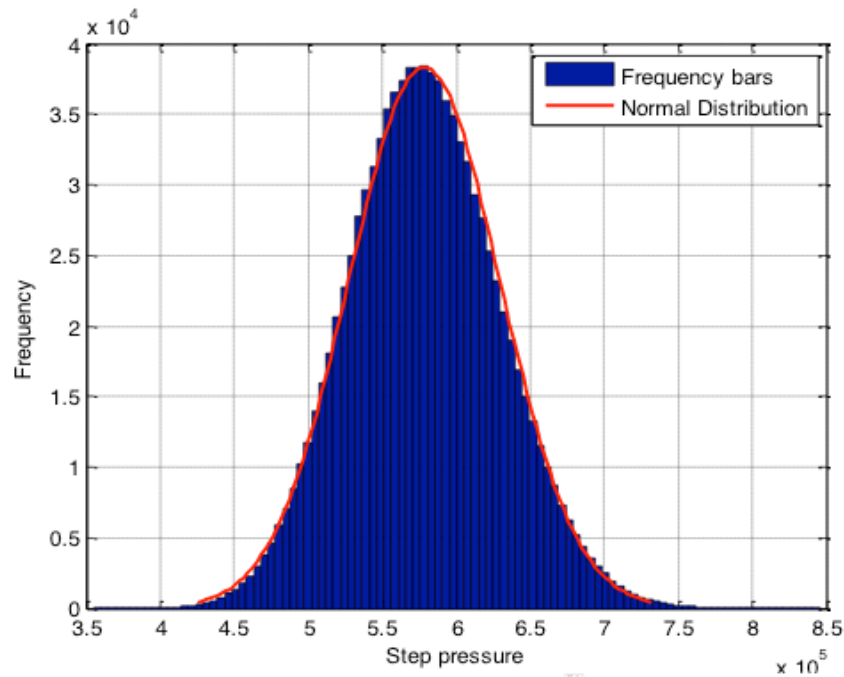


Figure 3. Histogram of *DP*.

In histogram, the red line represents a normal distribution, according to mean values and standard deviation of the quantities. The blue bars represent the results of a Monte Carlo simulation considering the input parameters and model adopted.

4 | CONCLUSION

The aim of this article was to present an overview of the dynamic calibration of pressure transducers and to discuss some of its concepts. The article is the result of studies carried out by the authors in the Institute of Aeronautics and Space (IAE) and Institute of Advanced Studies (IEAv), both part of the Department of Aerospace Science and Technology (DCTA).

A major challenge in dynamic calibration concerns the repeatability of the input pressure signal. In view of this, the entire set of tests must be carefully analysed: shock tube, data acquisition system, diaphragm construction material, gas used in the shock tube and assumed pressure for the rupture of the diaphragm.

Other precautions such as sensor location, cleaning of the shock tube and the rigidity of its holding can influence the quality of the signal generated, contributing to the uncertainty of the measurements.

The results show that the device and a Monte Carlo methodology employed are adequate to calibrate the piezoelectric sensor. In other words, both a Shock tube and a Monte Carlo Method can be used for dynamic calibration of the piezoelectric pressure sensor.

More details and references regarding dynamic calibration can be found in the first author's PhD thesis (Theodoro, 2016).

REFERENCES

BIPM/JCGM 100:2008 **Evaluation of Measurement Data - Guide to the expression of uncertainty of measurement**, Joint Committee for Guides in Metrology BIPM.

BIPM/JCGM 101:2008 **Evaluation of Measurement Data – Supplement 1 to the Guide to the expression of uncertainty of measurement - Propagation of distributions using a Monte Carlo method**. Joint Committee for Guides in Metrology BIPM.

Ceará C. **Calibration of the pressure transducer** (In Portuguese). Doctoral Tesis. Aeronautics Institute of Technology ITA (1962). In: http://www.bdit.a.br/tgsdigitais/lista_resumo.php?num_tg=000560813 Access out 16.

Diniz A C G C, Vianna J N S and Neves F J R. **Dynamic calibration of the pressure sensors: method and means (In Portuguese) 2006**. *Metrologia (SBM Congress)* September 01-05 Brazil.

Eichstädt S. **Analysis of dynamic measurements evaluation of dynamic measurement uncertainty (2012)**. Doctoral Tesis Technische Universität Berlin.

Hjelmgren J. **Dynamic measurement of pressure-A literature survey SP Rapport 2002:34**. In: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:962216/FULLTEXT01.pdf>.

ISA-37.16.01-2002. **A guide for the dynamic calibration of pressure transducers**. North Carolina: The Instrumentation Systems and Automation Society

Matthews C, Pennechi F, Eichstadt S, Malengo A, Esward T, Smith I, Elster C, Knott A, Arrhen A and Lakka A. **Mathematical modelling to support traceable dynamic calibration of pressure sensors**. 2014 *Metrologia* 51. pp. 326–338 doi:10.1088/0026-1394/51/3/326.

National Physical Laboratory **Data analysis and uncertainty evaluation**. In: <http://www.npl.co.uk/science-technology/mathematics-modelling-and-simulation/research/data-analysis-and-uncertainty-evaluation>.

Physikalisch Technische Bundesanstalt **Traceable dynamic measurement of mechanical quantities**. In: <https://www.ptb.de/emrp/2175.html>.

Schweppe J L, Eichenberger L C, Muster D F, Michaels E L and Paskusz G F. **Methods for the Dynamic Calibration of Pressure Transducers**. NBS Monograph 67 December 12 1963

Theodoro F R F, Reis M L C C, Souto C d' and Barros E. **Measurement uncertainty of a pressure sensor submitted to a step input**. 2016 *Measurement Vol. 88*. pp. 238-247 doi:10.1016/j.measurement.2016.03.043.

Theodoro F R F. **Evaluation of the uncertainties to dynamic calibration of pressure sensor submitted to a step input**. Doctoral Tesis Aeronautics Institute of Technology ITA (2016). In: http://www.bdit.a.br/tesesdigitais/lista_resumo.php?num_tese=71732.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Jorge González Aguilera: Engenheiro Agrônomo (Instituto Superior de Ciências Agrícolas de Bayamo (ISCA-B) hoje Universidad de Granma (UG)), Especialista em Biotecnologia pela Universidad de Oriente (UO), CUBA (2002), Mestre em Fitotecnia (UFV/2007) e Doutorado em Genética e Melhoramento (UFV/2011). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) no Campus Chapadão do Sul. Têm experiência na área de melhoramento de plantas e aplicação de campos magnéticos na agricultura, com especialização em Biotecnologia Vegetal, atuando principalmente nos seguintes temas: pre-melhoramento, fitotecnia e cultivo de hortaliças, estudo de fontes de resistência para estres abiótico e biótico, marcadores moleculares, associação de características e adaptação e obtenção de vitroplantas. Tem experiência na multiplicação “on farm” de insumos biológicos (fungos em suporte sólido; Trichoderma, Beauveria e Metharrizum, assim como bactérias em suporte líquido) para o controle de doenças e insetos nas lavouras, principalmente de soja, milho e feijão. E-mail para contato: jorge.aguilera@ufms.br

Alan Mario Zuffo: Engenheiro Agrônomo (Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT/2010), Mestre em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal do Piauí – UFPI/2013), Doutor em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal de Lavras – UFLA/2016). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS no Campus Chapadão do Sul. Tem experiência na área de Agronomia – Agricultura, com ênfase em fisiologia das plantas cultivadas e manejo da fertilidade do solo, atuando principalmente nas culturas de soja, milho, feijão, arroz, milheto, sorgo, plantas de cobertura e integração lavoura pecuária. E-mail para contato: alan_zuffo@hotmail.com

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-474-0

